

高 等 学 校 教 材

仪器科学与技术概论

潘仲明 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

仪器科学与技术概论

Yiqi Kexue yu Jishu Gailun

潘仲明 主编

潘仲明 杨俊 乔纯捷 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书介绍了仪器科学与技术的学科内涵和知识体系,内容包括仪器科学技术的概念体系、计量学基础、测量技术与仪器的基本知识、计算机辅助测量系统、传感技术与测量仪器的前沿领域、中国古代度量衡及观测仪器的发展概况,较为全面地反映了测量科学与应用的基本概念、仪器仪表专业的发展进程、现代传感技术及测量仪器的发展现状和趋势。

本书适合作为高等院校仪器仪表类专业的本科生教材,可供机械工程、电气工程、自动化技术以及物理、化学和生物医学等学科专业的本科生、研究生和科技人员进修参考。

图书在版编目(CIP)数据

仪器科学与技术概论/潘仲明主编. —北京:高等教育出版社, 2010.7

ISBN 978-7-04-029500-9

I. ①仪… II. ①潘… III. ①仪器-高等学校-教材
IV. ①TH7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 098606 号

策划编辑	韩 颖	责任编辑	曲文利	封面设计	于文燕	责任绘图	尹 莉
版式设计	马敬茹	责任校对	杨雪莲	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 16.25
字 数 390 000

版 次 2010 年 7 月第 1 版
印 次 2010 年 7 月第 1 次印刷
定 价 46.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29500-00

前言

“仪器科学与技术”学科的主要内容包括三大部分：即“计量学”、“传感技术”、“测量技术与仪器”，其应用范围涵盖了工程、物理、化学、生物和医学等各专业技术领域和日常生活的方方面面。鉴于仪器科学与技术横跨了几乎所有门类的理工学科，使得不仅仅是从事仪器仪表研究、开发、制造和销售的专业人士，实际上所有可能使用仪器仪表的科技工作者，都应该具备相关专业技术领域的测量知识。

在高等院校设置“仪器科学与技术概论”课程(以下简称“概论”)作为仪器仪表类专业本科生的必修课，或作为工程技术类专业本科生的选修课，已经成为仪器仪表专家、教授的普遍呼声。实际上，一些高等院校早在若干年前就已开设了这门课程，遗憾的是时至今日尚未见到与此相关的参考教材。本课程应当讲哪些内容？如何讲？相关的专家、教授也未达成共识，尤其是围绕“仪器科学与技术”学科的内涵和外延，国内的专家、学者发表了许多宏论，鞭辟入里者故有之，随意挥洒者亦不在少数；更有立意高远、囊括天下百科万物者，使人读后如坠入九霄云雾之中，恍兮惚兮，顿生不知仪器仪表为何物之叹！因此之故，笔者深深感到编写《仪器科学与技术概论》一书的必要性和迫切性。诚然，能否准确把握仪器科学与技术学科的内涵，提其要、构其玄，汇编集注以成书，并非一件易事，且又易于给人以“因循守旧”和“陈词滥调”之嫌。然而，为了“抛砖引玉”以就教于同行，笔者遂不揣浅陋、勉力为之了，这或许正应验了那句古话——“无知者无畏”吧。

事实上，前辈付出极大努力而建立的“测量科学与应用”(或计量学, Metrology)学科，迄今仍保持其原始规定的全部意义。仪器仪表专业术语的内涵及其规定性外延，并不因当代计算机和微电子技术的普遍应用而无限限制地扩展。

在编写本书的过程中，笔者力图做到如下三点。其一，比较完整而准确地介绍仪器科学与技术学科的知识体系结构。以“测量科学与应用”的关键术语为指南，广泛收集相关的文献资料并精心剪裁和编撰，既系统地反映本学科的基本知识、前沿技术和发展历程，又避免包罗万象、广博而无当。其二，考究源流，体现纵贯古今之格局，以简约的篇幅勾勒出国际单位制、国际计量组织、中国古代度量衡、计时方法和天文地理观测仪器的历史发展脉络，从中展现出学科知识的密集度、历史文化的厚重感、杰出人物的里程碑成果以及各时期生产力的发展水平。其三，具有可读性。在介绍严肃的专业技术知识的同时，穿插一些简洁生动的人物典故，以增强全书的知识性和趣味性。

全书共分为六章。第一章介绍仪器科学与技术的学科内涵与体系结构，阐明本学科的基本概念、研究内容和专业课程体系以及人才培养目标。第二章介绍仪器科学与技术学科的理论与应用基础——计量学的基本知识，内容包括：国际单位制的起源与发展，国际计量组织的创立、计量单位、计量标准与规范、计量分类、军事计量等，并附带介绍了在科学计量领域作出卓越贡献的著名物理学家。第三章介绍测量技术与仪器的基础知识，内容包括：测量原理、测

量方法、测量系统结构、测量仪器的静动态特性、测量不确定度和动态误差分析以及电磁兼容技术等。第四章介绍计算机辅助测量系统，主要内容包括：计算机硬件接口与总线、虚拟仪器、自动测试系统、网络化测量技术的基本知识和相关的技术规范，以及软硬件支撑技术。第五章主要介绍传感技术、电子测量仪器、精密测量仪器、现代测量技术的前沿研究领域、先进传感器与仪器仪表的发明创造等内容。第六章介绍中国古代度量衡发展简史、中国古代计时方法和天文地理观测仪的发展概况。

本书的第一章、第三章、第五章和第六章由潘仲明教授编写，第二章由杨俊副教授编写，第四章由乔纯捷副研究员编写。全书由潘仲明教授主编、统稿。

应当指出，几年前，国防科技大学王跃科教授就提议设置仪器仪表概论课程，并得到了仪器科学与技术系张屹、黄芝平等教授及相关教师的认同与支持。为此，国防科技大学开设了“测控技术与仪器概论”和“仪器科学与技术概论”两门课程，供“测控技术与仪器”专业和工程技术类专业的本科生选修。尽管一直没有统一的参考教材，但任课老师对本概论课程的认识基本上是一致的：即本课程不但要包含仪器仪表类专业的基本知识，而且要反映仪器仪表类专业的科学文化底蕴和未来技术发展的前瞻性。

应当特别指出，本书的编写得到了高等教育出版社高等理工出版中心韩颖副编审的热心支持，韩老师深厚的仪器仪表专业素养和强烈的社会责任感，使笔者受益良多。清华大学丁天怀教授、北京航空航天大学樊尚春教授、上海交通大学蔡萍教授、电子科技大学童玲教授在百忙中拨冗审阅了书稿，提出了许多切中肯綮的修改意见；尤其令人感佩的是蔡教授和童教授对书稿中每一章节中存在的问题都一一予以指正。在此，一并向各位老师表示诚挚的谢意！

限于笔者的学识和水平，书中难免存在疏漏、偏颇之处，敬请读者不吝批评指正。

潘仲明

2009年12月30日

于国防科技大学

目 录

第一章 仪器科学与技术的概念体系	1
1.1 学科内涵	1
1.1.1 测量	1
1.1.2 计量	2
1.1.3 传感器	3
1.1.4 测量仪器	5
1.1.5 仪器科学与技术学科的体系结构	7
1.2 专业术语及其探讨	9
1.2.1 测量技术领域常见词汇	9
1.2.2 基本计量学术语	11
1.3 本书概貌	16
习题	16
参考文献	17
第二章 计量学基础	18
2.1 计量单位制的起源与发展	18
2.1.1 国际计量组织	18
2.1.2 为计量单位制作出杰出贡献的科学家	20
2.1.3 国际单位制	24
2.1.4 计量单位与基本物理常数	32
2.2 国家计量标准与规范	34
2.2.1 我国法定计量单位及其使用规则	34
2.2.2 量值传递与溯源	36
2.3 计量分类	45
2.3.1 分类概况	46
2.3.2 十大计量	47
2.3.3 军事计量	54
习题	58
参考文献	58
第三章 测量技术与仪器的基本知识	61
3.1 测量的基本概念	61
3.1.1 测量原理	62
3.1.2 测量方法	68

3.1.3 测量仪器	70
3.2 测量仪器的静、动态特性	75
3.2.1 仪器的静态特性	76
3.2.2 仪器的动态特性	80
3.3 测量不确定度	87
3.3.1 影响量已知的系统测量误差	87
3.3.2 干扰量未知导致的测量不确定度	88
3.3.3 测量不确定度模型	90
3.3.4 合成不确定度的计算示例	94
3.4 动态测量误差	96
3.4.1 动态误差的成因	97
3.4.2 动态误差的校正	98
3.5 测量系统结构	99
3.5.1 串联结构	99
3.5.2 并联结构	100
3.5.3 环状结构	101
3.6 测量系统中的信号特性	102
3.6.1 信号类型或数据形式	102
3.6.2 传感器信号处理	103
3.7 电磁兼容	104
3.7.1 电磁干扰	104
3.7.2 接地	106
3.7.3 屏蔽	110
习题	113
参考文献	114
第四章 计算机辅助测量系统	115
4.1 工业控制计算机	115
4.1.1 硬件	115
4.1.2 软件	116
4.1.3 虚拟仪器	117
4.1.4 自动测试系统	118
4.2 硬件接口和总线系统	119
4.2.1 硬件接口	119
4.2.2 串行通信接口	121
4.2.3 并行通信总线	125
4.2.4 总线平台的比较	130
4.3 局域网通信系统	131
4.3.1 LXI 规范	132

4.3.2 LXI 测试系统的优越性	136
4.3.3 建立 LXI 自动测试系统	138
4.3.4 传感器无线网	139
4.4 测量程序与仪器控制	140
4.4.1 可编程测量仪器	141
4.4.2 计算机辅助测量过程	142
4.4.3 LabVIEW 和 MATLAB	144
习题	146
参考文献	147
第五章 传感技术与测量仪器的前沿领域	148
5.1 传感器的前沿技术	148
5.1.1 智能传感器	149
5.1.2 智能结构	155
5.1.3 新型传感器及其关键技术	159
5.2 测量技术与仪器的发展进程	165
5.2.1 仪器仪表与现代文明	165
5.2.2 电子测量仪器及系统	167
5.2.3 现代精密测量技术	170
5.2.4 现代测量技术的特征及发展趋势	178
5.3 科学实验与测量仪器	181
5.3.1 普朗克常数及其测量实验	181
5.3.2 先进仪器仪表和传感器的发明创造	184
习题	186
参考文献	187
第六章 中国古代度量衡及观测仪器的发展概况	190
6.1 中国古代度量衡的起源	190
6.1.1 古代度量衡与律吕的渊源	191
6.1.2 古代度量衡制度的发展历程	196
6.2 中国古代计时方法的演变	224
6.2.1 古代计时方法	224
6.2.2 古代计时仪器与历法	226
6.3 中国古代天文地理观测仪	232
6.3.1 古代天文观测仪	232
6.3.2 古代地理观测仪	238
习题	244
参考文献	245

第一章 仪器科学与技术的概念体系

客观、定量的观察与逻辑思维一起，构成了所有自然科学知识的源泉。这一由伽利略(图1-1)一贯倡导和使用的方法促进了自然科学的发展，而这些发展又构成了当今以技术为标志的文明的基础。俄国化学家门捷列夫指出，“科学是从测量开始的”。英国物理学家开尔文勋爵说过：“当你能测量并用数字来表达你所谈及的事物，你对它是有所了解的。反之，你的知识则是贫瘠的和不能令人满意的；无论该事物是哪一种事物，你也许处于知识的启蒙阶段，但你尚未进入科学的殿堂。因此，如果说科学是测量的话，那么没有测量便没有科学。”这两段话既指出了测量是科学研究的基础，同时也指出了科学研究的基本内涵。

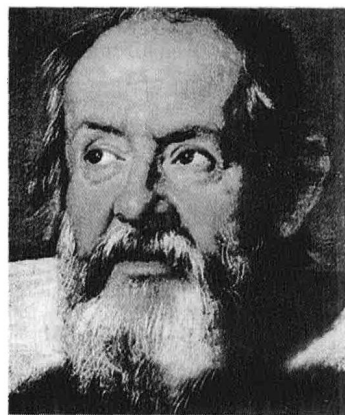


图1-1 伽利略
(1564—1642年)

在工程、物理、化学和生物等科学技术的各个领域和日常生活的方方面面都会遇到测量问题，为了更好地研究和解决这一问题，以满足国防、工业、农业、商业、交通、建筑、医学和环境保护等方面的科学研究、技术开发和各类应用对各种测量仪器的需求，在国内高等院校中建立了仪器科学与技术一级学科。鉴于仪器科学与技术横跨了几乎所有门类的专业技术领域和具有如此广泛的应用，使得不仅仅是从事仪器仪表研究、开发、制造和销售的专业人士，实际上所有可能用到测量技术的科技工作者，都应该具备相关的测量知识。

1.1 学科内涵

测量(Measurement)、计量学(Metrology)、传感器(Sensor)和仪器仪表(Instrumentation)等四个专业术语决定了仪器科学与技术的学科内涵。下面分别介绍这些术语的内涵及其规定性外延。

1.1.1 测量

在国家计量技术规范《JJF 1001—1998 通用计量术语及定义》中“量”的定义为：“量是现象、物体或物质可定性区别和定量确定的一种属性。”由此可以看出，被研究的对象既可以是自然现象，又可以是物质本身。同时还应该注意到这个概念的双重含义：一方面，正如人们通常所理解的那样，量的具体意义是指大小、轻重、长短等概念，如物体的长度、质量、速度等；另一方面，量的广义含义是指现象、物体和物质的定性区别，即可把量区分为诸如长度、质量、时间、温度、硬度、电流、电阻等不同性质的量。

一个物理量是一个物体、一种状态或一个过程的可测量的特性，物理量的测量是通过与一个计量单位相比较而实现的，并表示为

$$\text{物理量} = \text{数值} \times \text{单位}$$

其中，数值表示在被测量中包含多少个单位。因此，在测量之前，单位必须首先得到定义。

这种狭义的物理量——包含在相关物理方程式中的量的测量，不适用于那些不能用数值 $\times$ 单位来表示的量(如莫氏硬度、pH值、室内的甲醛含量等)。对于非物理量，可以参照约定参考标尺，或参照测量程序，或两者都参照的方式来描述(参见1.2.2节)。

为了使测量的定义适合于所有可测量的量，在《JJF 1001—1998 通用计量术语及定义》中，把“测量”(Measurement)定义为：“以确定量值为目的的一组操作”。也就是说，测量的目的是确定量值，即利用一个已知的单位量或约定的参考标尺，采取一定的手段和方法与被测的同种量进行比较的实验过程；测量的结果是具有确定单位的量值或与约定参考标尺相关联的数值。

测量结果既可应用于描述现象、物体或物质的可量化和可定性区别的特性，又可应用于过程控制或者环境监测。

测量误差是指测量结果偏离被测量真值的程度。通常，一个被测量的绝对真值是无法确定的，传统的方法是参照绝对或公认的标准来指定真值。

在实际测量过程中，测量误差来源于已知影响量和未知影响量。对于前者，可以对测量值进行修正；对于后者，则无法进行修正，只能给出一个范围，被测量的真值以某个概率落在这个范围内。对于被测量的这种未知特性的度量称为**测量不确定度**，它表征了被测量真值的分散性。从词义上，可将测量不确定度理解为是测量结果的有效性和可置信度。

1.1.2 计量

为了使测量结果具有广泛而一致的意义，必须定义出人们能共同遵守的、准确的、且经得起时间考验的单位。几百年来，世界上各国政府和科学家们为此付出了巨大努力，并创立了以国际单位制(SI)单位为基础的国际测量标准(通常称为国际计量基准，或国际计量标准)，从而奠定了计量学的基础。与最初使用实物基准来定义单位不同，现在的目标是尽可能采用那些随时随地可以通过重复实验获得的基本物理常数来定义单位。早在量子化单位可以付诸实施之前，英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879年)就指出：“如果我们想取得长度、时间和质量的绝对不变的单位，就不能在我们所在的星球的大小、运动和质量中去找，而应该在永恒的、不变的、完全一样的原子的波长、频率和质量中寻找。”

“计量学”(Metrology)是关于“测量的科学与应用”，它涵盖了有关测量的理论与实践的各个方面，而不论测量的精度(或不确定度)如何，也不论测量是在科学技术的哪个领域中进行的。计量学既是一门研究测量理论与实践的综合性学科，又包含了规范测量的法规，且与质量管理和技术监督行政部门紧密联系，这在其他学科中是相当罕见的。

“计量”是指“为实现单位统一、量值准确可靠的活动”。由国家《计量法》规定的、具有明确的名称、定义和符号的测量单位，称为**计量单位**。计量单位是为定量表示同种量的大小而约定和采用的一种标准量。

由国家法定计量部门从事的测量工作，称为**计量工作**。计量工作包括：计量单位的统一，

测量程序的编制,测量原理和测量方法(如仪器、操作、数据处理等)的选择,量值传递、溯源链路的建立与管理,以及同这些工作有关的法律、法规的制定与实施等。

计量既是测量又不同于测量,它是与测量结果置信度有关的、与不确定度联系在一起的规范化的测量——可以溯源到计量基准的测量。计量的特点可以概括为“精确性”、“一致性”、“溯源性”和“法制性”四个方面。

精确性是指,测量结果与被测量的可测得值的一致程度或与被测量“真值”的接近程度。量值的精确性是指,在某个测量不确定度或误差极限(允许误差)范围内的精确性。由于实际上不存在完全准确无误的测量,因此在给出量值的同时,必须给出适合于应用目的或实际需要的测量不确定度(或误差范围),否则,正在进行的测量工作的质量就无从判断,测量结果也就不具备可充分利用的价值。

一致性是指在统一计量基准的基础上,无论何时何地,采用何种方法,使用何种计量器具,以及由何人测量,只要符合有关的要求,其测量结果就应该落在给定的区间内,也即测量结果必须是可重复、可再现(复现)、可比较的。换言之,计量的目的是对测量结果及其有效性和可靠性的确认,否则计量就失去了社会效益。计量的一致性不仅仅局限于国内,也适用于国际,例如,国际关键比对和辅助比对的结果在协议区间内必须是一致的。

溯源性是指任何一个测量结果或某一级别计量标准的值,都能通过一条规定了测量不确定度的连续比较链,与更高精确度等级的计量标准联系起来的特性。这种特性使所有的同种量值,都可以通过校准,沿着这条比较链向计量标准的源头追溯,也即溯源到同一计量基准(国家计量基准或国际计量基准),从而使精确性和一致性得到技术保证。不然的话,如果计量基准出于多源,必然会在技术上和管理上造成混乱。溯源性体现在“量值溯源”和“量值传递”两方面:前者是指“自下而上通过不间断的校准而构成的溯源体系”;后者是指“自上而下通过逐级检定而构成的检定系统”。

法制性来源于计量的社会性,因为量值的精确可靠不仅仅依赖于科学原理和技术手段,还要依靠相关法律法规和行政管理的强制性约束。特别是与国计民生有直接关系的、涉及公众利益和可持续发展的、或者需要特殊信任的领域,必须由政府提供法制保障。否则,就不可能实现量值的精确性、一致性和溯源性。

1.1.3 传感器

在测量系统中,通常将对被测量直接响应的部件或装置称为“传感器”,其功能是将被测量输入转换为信号输出。传感器由于能提供适合于传输和处理的、且包含被测对象信息的信号而使测量成为可能。因此,传感器是测量系统的技术与物质基础。

在《JJF 1001—1998 通用计量术语及定义》中,将测量传感器(Measuring Transducer)定义为:“提供与输入量有确定关系的输出量的器件”;而将敏感元件或敏感器(Sensor)定义为:“测量仪器或测量链中直接感受被测量作用的元件”;检测器或探测器(Detector)则定义为“用于指示某个现象的存在而不必提供有关量值的器件或物质”。在《GB/T 7665—2005 传感器通用术语》中对传感器(Transducer/Sensor)下的定义是:“能感受(或响应)规定的被测量,并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。”国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)将传感器定义为:“传感器是测量系统中的一种前置部件,它将输入变量转换

成可供测量的信号。”根据学者 Gopel 等人的说法,传感器是包括承载体和电路连接的敏感元件,而传感器系统则是组合有某种信息处理(模拟或数字)能力的传感器。从本质上看,上述定义基本上是一致的,但其适用范围仍存在细微差别,特别是与传感器相关的三个英文词汇“Transducer”、“Sensor”和“Detector”的解释不尽相同。

由于存在着六种不同的信号类型,即机械、热、磁、电、化学和辐射(包括光在内的微粒辐射和电磁辐射),所以可将换能器(Transducer)定义为:“将一类信号转换成另一类信号的任何装置”。当今科学技术的进步,使得几乎所有的物理量乃至一些化学量和生物量都可以通过换能器转换为便于利用的电信号,故而现代测量系统大都利用“电信号”作为“量值信息”的载体。为此,本书将传感器(Transducer/Sensor)定义为:“测量系统中的一种前置部件,它能将输入量转换成可供测量的电信号。”而将检测器/探测器(Detector)视为是“一种特殊的传感器,它能将经过介质传播的输入量转换成可检出的电信号。”采用这种狭义的传感器定义,就可以把所有依靠传感器将被测量转换为电信号的测量系统,称为“电子测量系统”,以拓展电子测量技术传统研究领域的广度和深度,进而形成新的学科分支——现代电子测量技术。

现代电子测量系统具有如下优点:

(1) 通过选择适当的物质材料,传感器可用于任何非电量测量。

(2) 由于传感器的输出信号可以被放大,所以无需从被测过程吸收能量。放大器输出的能量由它的电源提供,传感器的输出信号仅对放大器的输出信号进行调节。

(3) 现有各种各样的集成电路可用于电信号的调节,某些传感器与信号调理电路集成在一个封装器件内。

(4) 有许多利用电信号来实现测量信息显示和记录的形式可供选择,如数据、文本、曲线、图形或图像。

(5) 电信号传输的适用面非常广泛。尽管在某些存在电离辐射或易爆的环境中,采用机械信号、液压或气动信号可能更安全,但电信号仍然占据各种应用的主导地位。

必须指出,尽管传感器/敏感器、换能器和检测器的定义有所不同,但它们往往可以作为同义语使用。例如,在超声波测距系统中,测量传感器(Measuring Transducer)是由输出换能器(电信号/超声波)和输入换能器(超声波/电信号)构成的。输出换能器又称为发射器(Transmitter),而输入换能器则称为接收器(Receiver)、检测器(Detector)或敏感器(Sensor)。注意,在其他应用领域中,往往将输出换能器称为执行器(Actuator)。

根据传感器与测量环境交互作用的方式,传感器可分为“主动传感器”和“被动传感器”两大类。即:

主动传感器需要为测量环境提供能源作为测量过程的激励信号。例如,在雷达和主动声呐系统中,通过发射器(天线或声波发射器)向外界发送电波或声波,由接收器检测被测目标产生的回波信号,利用适当的信号处理算法,就可以估计出目标与传感器之间的距离。

被动传感器不需要为测量环境提供能源,但有可能从被测对象抽取能源,如利用热电偶将环境温度转换为电信号。在这种情况下,由环境的温度梯度所产生的热电效应将使热电偶传感器直接输出电压信号,但有可能因热电偶吸收热能而略微改变环境的温度。

根据传感器输出信号的形式,传感器可分为模拟和数字式两大类:

信号(波形)的幅值和时间变量都是连续的,称为连续信号。如果传感器的输出信号是与

输入信号成正比的连续信号，则称为模拟传感器。

信号(波形)仅仅在离散时间点上有定义，习惯上称为时间离散信号。如果传感器的输出是与被测量相关联的离散信号，则称为数字式传感器。数字式传感器通常是二进制(开、关状态)装置。典型的情形是，对模拟传感器的输出进行采样，由此得到的时间离散信号称为采样信号，其幅值和时间变量都是离散的。

1.1.4 测量仪器

在《JJF 1001—1998 通用计量术语及定义》中，测量仪器(Measuring Instrument)的定义是“单独地或连同辅助设备一起用以进行测量的器具”；测量系统(Measuring System)则定义为“组装起来以进行特定测量的全套测量仪器和其他设备”。根据汉语的使用习惯，通常将测量仪器简称为仪器或仪表(尤指带有刻度盘和指示针的测量装置)，或统称为仪器仪表。有时为了叙述上的方便，并不严格区分测量仪器和测量系统，而将二者视为同义语。

仪器仪表是一种能将测量转换为适合于记录和显示形式的装置。除了日常生活中常见的度、量、衡器和钟表之外，仪器仪表还为人们展示了这样的一些领域，诸如原子核的直径或宇宙的大小，这些远远超出人们的直接经验的量，也可以通过仪器进行测量和计算。在微观和宏观世界中，仪器仪表以一种几乎无法想象的程度拓展了人类感官所能感测的视野(参见图1-2)。

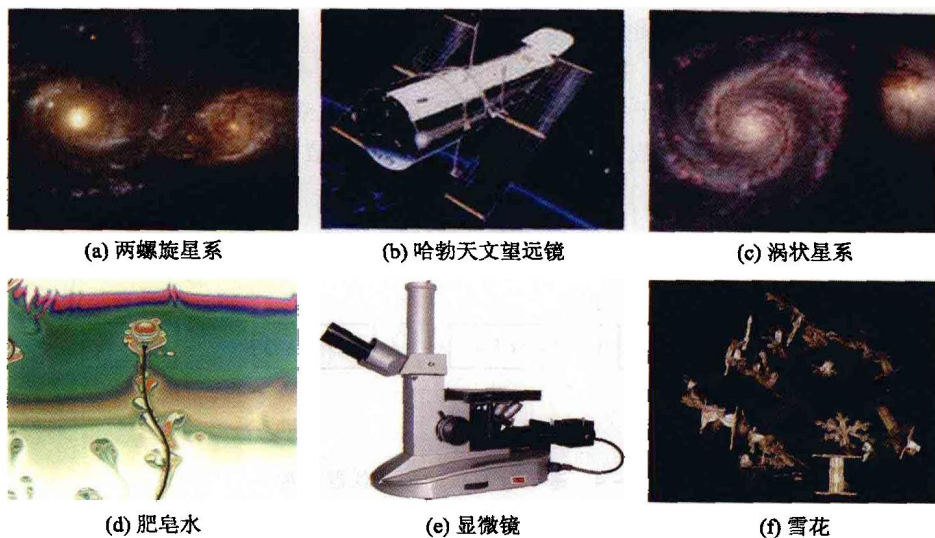


图 1-2 借助观测仪器拓展人类的视野

图1-3是简化的测量仪器通用模型。图的左边是测量的物理过程，用可观测变量 X 来表示被测量。注意，可观测变量 X 也可以不是被测量，但与被测量之间存在已知的关系，一般可用数学方程(即测量方程)来描述它们之间的关系。例如，可以利用重力与物体质量的关系来测量质量。

常见的物理量和典型的信号变量如表1-1所示。

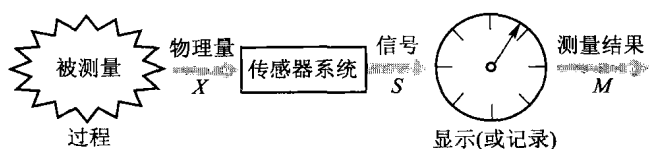


图 1-3 简化的仪器模型

表 1-1 物理量与信号变量

常见的物理量			典型的信号变量	
距离	电阻	温度	电压	电流
速度	电容	压力	压力	力
加速度	电感	时间	位移	频率
力	功率		光	

在图 1-3 所示的简化模型中，传感器系统是关键部件，它将物理量输入转换为电信号输出，直接传输到显示装置，由观测者读出测量结果 M 。由于电信号变量可在电或机电传递系统中进行处理，因此电信号可以很容易地传输到仪器的显示（或记录）装置。显示（或记录）装置既可以与传感器集成在一起，也可以远离传感器。

传感器输出的电信号不仅可以直接用于记录和显示，还可以作为下一级装置或系统的输入信号，如作为闭环控制系统的反馈信号。

如果传感器的输出信号很小，则必须经过放大，如图 1-4 所示。在许多场合下，要求测量仪器能够提供数字信号，以便于接入计算机数据采集系统或通信系统中。如果传感器的输出不是数字信号，则必须用模拟-数字(A/D)转换器将模拟信号转换为数字信号。数字信号送入计算机后，再进行处理、存储、显示或接入其他系统。

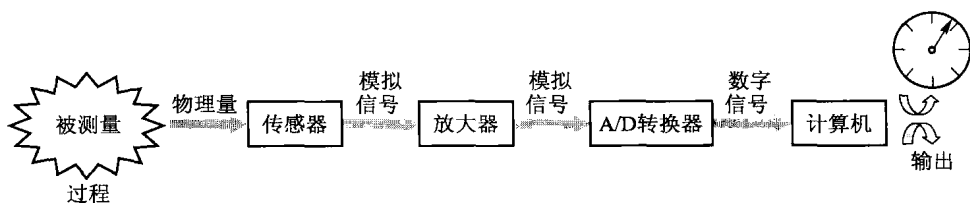


图 1-4 基于计算机的测量仪器模型

在使用测量仪器（或传感器）之前，通常需要对它们进行标定。所谓的标定是指“按照规定的操作程序和计量标准，建立测量仪器（或传感器）的输入-输出关系”。通用的标定方法是采用已知的物理量作为输入，然后记录测量仪器（或传感器）的输出，并画出表示输入-输出关系的标定曲线。

评价测量仪器性能的技术指标主要有：静、动态特性，测量不确定度（或静态测量误差），动态测量误差。有时还要对测量仪器的稳定性和可靠性进行评价。

根据仪器仪表的用途及其是否依赖传感器作为信号转化装置，可将其分为四大类。

（1）现代电子测量仪器：采用传感器将被测量转化为电信号的测量仪器，包括用光电检

测器作为信号转换装置的光电检测仪器,以及用于几何量测量的精密仪器。

(2) 观测仪器:直接用于拓展人类视野的光学仪器,如显微镜、望远镜等。

(3) 标度量具:不依赖于电信号工作的测量仪器。譬如,直尺、卡规、杆秤、弹簧秤、标准容器、机械钟表、水银温度计等。

(4) 辅助测量仪器或设备:测量过程使用的辅助仪器或设备,例如,信号发生器、激振器、稳压源和光源等。

对于特定的测量任务来说,要选择合适的传感器(换能器、检测器/探测器),设计系统的结构,确定信号的形式,以便兼顾测量精度、抗干扰性和经济性等的最佳组合。

1.1.5 仪器科学与技术学科的体系结构

任何一门学科所规定的内涵与外延,不应当随着与之相关的技术工具的革新而改变,除非出现了革命性的科学发现,动摇了该学科的理论基础。从本质上看,无论仪器仪表专业是否属于信息类专业,该专业的基础理论与技术规范——**测量科学与应用(或计量学,Metrology)**至今仍然保持其原始定义的全部意义;而传感技术、计量学、测量技术与仪器应当是仪器科学与技术学科的主要研究领域。

仪器科学与技术是一个很大的领域,它涉及自然科学、工程技术和人类社会生活等各个方面的测量与计量问题。仪器科学与技术学科的核心内容可用四个关键词(即计量、测量、仪器和传感器)来描述,它们之间的关系如图1-5所示。

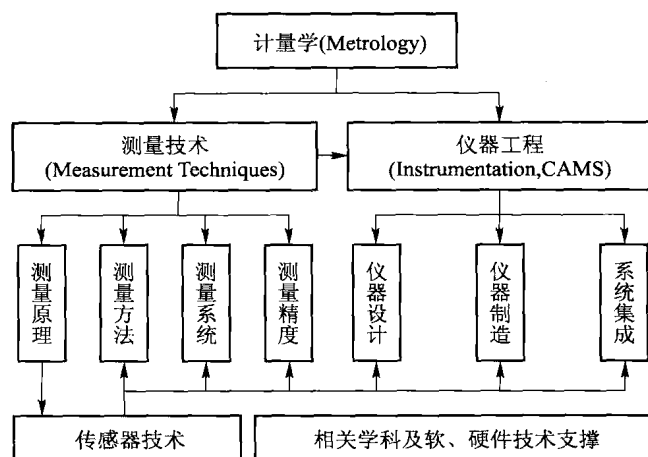


图 1-5 仪器科学与技术学科的体系结构

在相关学科与软、硬件技术支撑的方框图中,除了包括数、理、化基础知识之外,还包括:精密机械、材料、电气电子、光学、通信、控制、计算机和信号处理等多学科知识,以及测量对象所涉及的专业技术领域。仪器仪表学科的广博性,决定了目前在高等院校所开设的“测控技术及仪器”专业,必须设置专业导向性课程,针对特定的测量对象开展教学与科研工作,并以此建立相应的专业知识结构。否则,无的放矢,仪器仪表专业技术实践课程和毕业设计论文就难以落到实处。这样做不是要回归专才教育的老路,而是要通过确定专业技术课程(测量、计量、仪器、传感器)与专业技术导向性课程(研究对象)的恰当比例,来更好地实现通才

教育的目标。

计量学是“测量技术与仪器”的理论基础与实践指南,也包括规范测量的法令法规。“计量学”课程的主要内容包括:

- (1) 计量标准;
- (2) 测量不确定度(误差)理论与数据处理;
- (3) 国家计量管理体系;
- (4) 根据专业技术导向,讲授“十大计量领域”中的一、二项基本知识。

测量技术主要研究测量原理、测量方法、测量系统和测量精度(静、动态误差)等专题。“现代电子测量技术”课程的主要内容包括:

- (1) 电信号的获取;
- (2) 测量系统的结构;
- (3) 信号形式的特征;
- (4) 信号的传输与处理;
- (5) 获得信息的存储、输出和显示。

仪器工程包括仪器设计、仪器制造和计算机辅助测量系统(CAMS)的研究、开发与集成。“仪器工程”课程的主要内容包括:

- (1) 现代电子测量仪器(含光电检测仪器);
- (2) 计算机测量系统(重点介绍自动测试系统的基本结构和常用的虚拟仪器软件);
- (3) 辅助测试仪器或设备(如信号源、光源、激振器、转台等);
- (4) 精密机械(仪器)设计。

传感器技术主要是研究和开发测量系统中能将输入量转换成可供测量电信号的前置装置。“传感器技术”课程应结合专业技术导向课程,有选择地介绍物理、化学或生物传感器。内容包括:

- (1) 功能材料;
- (2) 传感器(包括换能器和检测器)的设计与制作工艺;
- (3) 信号调理电路;
- (4) 传感器系统集成。

值得指出的是,关于仪表专业课程的设置,不能偏离《国际计量学词汇——通用、基本概念及相关术语》所规定的内涵和外延,颠倒“主干专业理论技术课程”与“相关专业技术课程”的主次关系,否则不但会影响到国际学术交流,而且势必改变高等院校设置仪器仪表专业的初衷。事实上,包括生物、医学在内的各个门类的理工科专业都涉及测量技术与仪器仪表的应用问题,但人们并不认为这些专业技术人员所从事的工作属于仪器仪表专业的范畴,这是因为任何科学实验都离不开测量。与其他理工科专业不同,仪器仪表专业的人才培养目标始终都应该是能胜任下列工作的科技人员:

- (1) 计量、质量管理与技术监督;
- (2) 新型传感器、计量标准和计量器具的研发与应用;
- (3) 测量仪器和自动测试系统的研发、使用、维护与管理;
- (4) 传承和发展仪器仪表、传感器技术及产业。

总而言之，仪器仪表专业技术人员必须具备“从事测量科学与应用研究、向社会提供计量管理与服务”以及“研究、开发、设计和制造传感器和仪器仪表”的知识结构和能力。仪器仪表专业技术人员的成就，一如既往地表现在传感器与测量仪器的发明创造上；表现在计量基准的创新和校准/检定流程的改革上；表现在自动测试系统的开发与应用上。

1.2 专业术语及其探讨

下面首先介绍几个专业术语约定俗成的定义，然后对国内相关教材、科技论文乃至专业技术指南中常见的若干个专业词汇加以讨论，其主要目的是为了澄清一些模糊或模棱两可的概念，使初学者能够理解和掌握这些基本词汇的准确含义。

1.2.1 测量技术领域常见词汇

1. 测试(Test)

测试是具有试验性质的测量。测试的本质是测量，这是因为任何测试最终都要得到数据。但测试的目的不是单纯为了确定某一量值，往往是为了解决科学研究和生产实际中的问题，是试验研究的过程，具有一定的探索性质。其主要含义是：

- ◆ 测试的目的是为了定性(是/否)、分类或定量地分析具体问题；
- ◆ 测试是一个具有探索性质的试验过程；
- ◆ 测试的本质是测量或检验，既可以由人工来观测，也可以由仪器输出试验结果。

计量、测量、测试三者之间具有密切的关系，它们都是为了解决“量”的问题，均属于测量的范畴。计量是可以溯源到标准量的特殊测量，是测量和测试的基础；测量是计量和测试的技术手段；测试是为解决某一具体计量问题，或者为决定某种现象、事物或物质的特性是否存在及其真实性而进行的试验与测量，它能为计量和测量提供新的技术手段。

注释：英文单词“Test”有时也翻译成“试验”。如英文的“Test & Measurement”(T & M)与中文“测试”的含义是完全一致的。

2. 检验(Examine;Inspect)

检验是检查并验证的总称。检验是对样品的一种或多种特性进行检查、试验或测量(包括计数)，以确定样品的特性是否符合规定的要求。

3. 检测(Check and Measure)

检测是检验和测量的总称。在实际工作中，检测包含了测量、试验和判决或决策的过程。

4. 信号检测理论(Signal Detection Theory)

信号检测理论主要研究“在噪声中识别信号之能力的量化理论与方法”。

根据上述专业术语的内涵，下面就一些在国内测量技术领域中常见的词汇进行探讨。

1. 测试计量技术

英文的“Metrology”主要是指研究测量的科学，它与中文的“计量”难以一一对应。“计量”的含义是“以实现单位统一、量值正确可靠为目的的活动”；“测试”的含义是指“具有试验或研究性质的测量”。将“测试”与“计量”这两个同属于“测量”范畴的词汇合并为“测试计量”，其具体含义就不太容易理解了。